



**10**

**EFFETTI AMBIENTALI  
DELLE DINAMICHE CLIMATICHE  
GLOBALI**



## BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI

L'indicatore rappresenta la somma algebrica tra la massa di ghiaccio accumulato da un ghiacciaio, derivante dalle precipitazioni nevose, e la massa persa per fusione nel periodo di scioglimento. Il valore del bilancio netto annuale, che costituisce una media per l'intero ghiacciaio, è espresso in metri equivalenti di acqua. Scopo dell'indicatore è verificare la presenza di un trend o di una ciclicità nell'andamento del bilancio annuale e valutare la corrispondenza a livello locale degli scenari climatici definiti a livello globale.

### CLASSIFICAZIONE

TEMA	SOTTOTEMA	SETTORE	DPSIR
Cambiamenti Climatici	Criosfera e Ghiacciai	Trasporti; Turismo; Vita Domestica; Industria; Gestione Aree Urbane; Energia: produzione e trasporto	State

### RIFERIMENTI NORMATIVI

NORMATIVA DI RIFERIMENTO	RELAZIONE CON LA NORMATIVA
L'indicatore non ha riferimenti normativi. Il bilancio di massa viene tuttavia indicato dall'Agenzia Europea come indicatore prioritario per il monitoraggio degli effetti del global change sui sistemi naturali.	Non applicabile

### LIVELLI NORMATIVI DI RIFERIMENTO

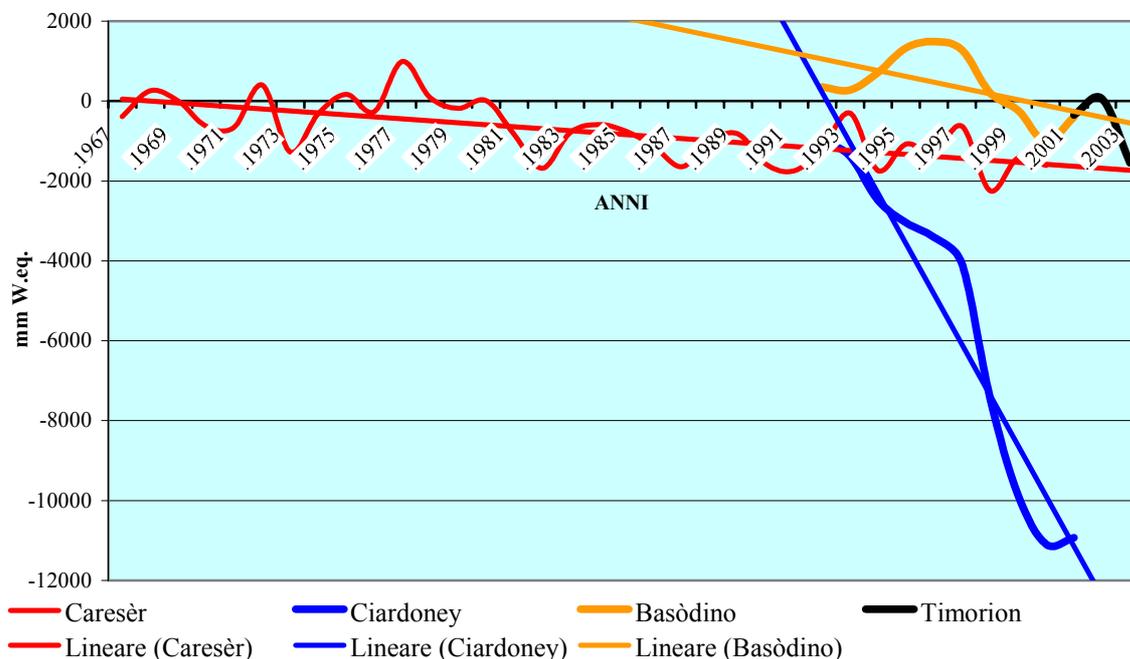
### COPERTURA TEMPORALE E SPAZIALE

AGGIORNAMENTO	PERIODICITA' DI AGGIORNAMENTO	COPERTURA TERRITORIALE
31/12/2002	Annuale	Ghiacciaio del Timorion - massiccio del Gran Paradiso, Valsavarenche



## ELABORAZIONE E PRESENTAZIONE

### BILANCIO DI MASSA DEI GHIACCIAI ITALIANI



I dati di bilancio di massa costituiscono un'indicazione fondamentale per valutare lo "stato di salute" dei ghiacciai: attualmente in Italia ne sono monitorati una decina, spesso con serie discontinue o di entità ridotta. Per l'elaborazione dell'indicatore sono stati considerati i ghiacciai del Basòdino e del Ciardoney (entrambi nelle Alpi Occidentali) con 10 anni di misure e il ghiacciaio del Caresèr (Alpi Centrali) per cui sono disponibili oltre 30 anni di rilevamenti. In Valle d'Aosta l'ARPA ha avviato il bilancio di massa del ghiaccio di Timorion in Valsavarenche a partire dal 2001: sono attualmente disponibili tre anni di rilievi che confermano il trend evidenziato per gli altri ghiacciai.

In generale, si verifica una tendenza alla deglaciazione e alla fusione: questo trend risulta peraltro comune a oltre il 70 % dei ghiacciai del pianeta. L'informazione decisamente più importante è espressa dalla serie ultratrentennale del Caresèr: si tratta di un ghiacciaio di dimensioni decisamente maggiori rispetto agli altri, caratterizzato da una elevata resistenza complessiva alle modificazioni indotte dal clima. Considerata la loro differente ubicazione sull'arco alpino i diversi ghiacciai possono essere considerati rappresentativi di differenti settori climatici.

Sebbene l'informazione di bilancio annuale possieda un valore intrinseco elevato, la risposta del ghiacciaio al clima non sempre risulta lineare: di fatto, lo scioglimento dei ghiacciai rappresenta la risultante del fattore termico a cui si combinano le variazioni della distribuzione delle precipitazioni nel corso dell'anno e le condizioni climatiche peculiari.

#### FONTI DEI DATI

I dati di bilancio di massa dei ghiacciai del Ciardoney, del Caresèr e del Basòdino sono stati tratti dall'edizione tematica speciale della Rivista Italiana di Meteorologia, Clima e Ghiacciai della Società Meteorologica Italiana "Nimbus", n°23/24, settembre 2002. I rilievi sul ghiaccio di Timorion sono stati effettuati direttamente da personale ARPA.

#### PRESENZA IN ALTRI DOCUMENTI

APAT - Annuario dei Dati Ambientali 2003  
Per alcuni ghiacciai italiani i dati sono trasmessi e pubblicati sul Mass Balance Bulletin, World Glacier Monitoring Service, parzialmente disponibile sul sito [www.geo.unizh.ch/wgms](http://www.geo.unizh.ch/wgms)  
Le altre attività di bilancio di massa svolte in Italia sono state pubblicate in contesti accademici diversi e sostanzialmente in modo frammentario.



## ANDAMENTO DELLE FRONTI GLACIALI

L'indicatore sintetizza l'attività di monitoraggio delle fronti glaciali di un campione di ghiacciai valdostani. Per l'elaborazione, la regressione glaciale è stata intesa come un innalzamento altitudinale della quota minima della fronte.

Scopo dell'indicatore è verificare la presenza di un trend o di una ciclicità nell'andamento delle fronti glaciali e, anche in questo caso, valutare la corrispondenza a livello locale degli scenari climatici definiti a livello globale.

### CLASSIFICAZIONE

TEMA	SOTTOTEMA	SETTORE	DPSIR
Cambiamenti Climatici	Criosfera e Ghiacciai	Trasporti; Turismo; Vita Domestica; Industria; Gestione Aree Urbane; Energia: produzione e trasporto	State

### RIFERIMENTI NORMATIVI

**NORMATIVA DI RIFERIMENTO**  
Assenti

**RELAZIONE CON LA NORMATIVA**  
Assente

**LIVELLI NORMATIVI DI RIFERIMENTO**  
Assenti

### COPERTURA TEMPORALE E SPAZIALE

**AGGIORNAMENTO**  
31/12/2001

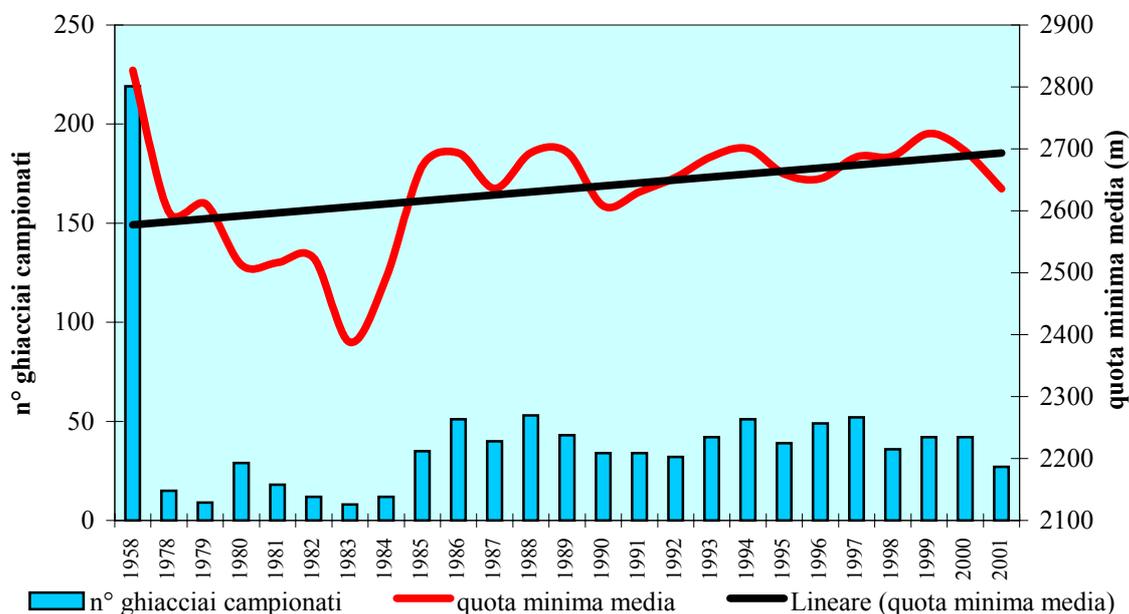
**PERIODICITA' DI AGGIORNAMENTO**  
Annuale

**COPERTURA TERRITORIALE**  
Intero territorio regionale



## ELABORAZIONE E PRESENTAZIONE

### ANDAMENTO MEDIO DELLA QUOTA MINIMA DELLE FRONTI GLACIALI - ANNI 1958-2001



È stata valutata la curva di regressione dei valori di quota minima della fronte: il trend complessivo indica un innalzamento della quota minima dei ghiacciai regionali e la conseguente tendenza alla fusione. In particolare in Valle d'Aosta l'elevazione media della fronte appare più nettamente rispetto ad altri settori delle Alpi Centrali e Orientali dove la contrazione dei ghiacciai sembra essere meno evidente.

L'elaborazione significativa delle serie di dati storici risulta comunque alquanto problematica. Sono stati considerati inizialmente (1958) i dati relativi a 218 ghiacciai e successivamente un sotto-campione variabile di anno in anno. Ogni ghiacciaio possiede caratteristiche proprie (altitudine, substrato, esposizione, morfologia, ecc.): di fatto a un'effettiva regressione non corrisponde sempre e comunque un aumento della quota minima della fronte stessa (ad esempio per ghiacciai con porzione terminale pianeggiante, ghiacciai di circo, lingue glaciali incassate, ecc.).

Inoltre la serie di dati attualmente disponibile è disomogenea: il numero dei ghiacciai campionati è molto variabile nel tempo e sono stati esaminati campioni di individui glaciali solo in parte sovrapponibili. In generale, il valore medio annuale della quota minima è condizionato dal numero di ghiacciai campionati: quando il numero di ghiacciai campionati è basso (1979, 1982, 1983, 1984) l'affidabilità del dato medio è minore rispetto agli anni in cui il numero di corpi glaciali monitorati è superiore (a partire dagli anni '90). Infine il dataset non contiene informazioni precedenti al 1958 e non consente elaborazioni di lungo periodo. Il punto di forza dell'indicatore rimane tuttavia la sua copertura spaziale in quanto nell'insieme sono riportate informazioni relative all'intera regione.

L'elaborazione alternativa del dataset potrebbe essere costituita dall'utilizzo dei dati di *arretramento/avanzamento* lineare della fronte: tuttavia essi sono relativi ad un numero minore di ghiacciai e risultano meno affidabili in quanto riferiti a segnali di posizione spesso variati o scomparsi nel tempo.

#### FONTI DEI DATI

Catasto dei ghiacciai italiani del 1958, Comitato Glaciologico Italiano  
Geografia fisica e dinamica quaternaria, Bollettini del Comitato Glaciologico Italiano ser. 3: Relazioni delle campagne glaciologiche degli anni dal 1978 al 2001 (ultima pubblicazione anno 2002)

#### PRESENZA IN ALTRI DOCUMENTI

APAT - Annuario dei Dati Ambientali 2002



## L'ATTIVITA' DI MONITORAGGIO DEL GHIACCIAIO DEL TIMORION

Nell'ambito del monitoraggio degli effetti dei cambiamenti climatici sull'ambiente valdostano, l'ARPA ha avviato nel 2001 le misure di bilancio di massa sul ghiacciaio del Timorion, piccolo apparato glaciale posto nella media Valsavarenche.

Queste misure, che consentono di determinare l'andamento annuale degli accumuli e delle perdite di massa sull'intero ghiacciaio, contribuiscono alla conoscenza degli scenari climatici futuri a livello regionale.

A tale scopo l'ARPA, in collaborazione con la Società Meteorologica Italiana, e con il supporto logistico del Parco Nazionale del Gran Paradiso e della Regione Autonoma Valle d'Aosta, effettua ogni anno le misure degli accumuli nevosi alla fine del periodo primaverile e dell'ablazione al termine dell'estate: mediante opportune elaborazioni si determina così il bilancio fra le "entrate" (precipitazioni nevose) e le "uscite" (fusione e sublimazione), parametro espresso in metri equivalenti di acqua (m eq. H<sub>2</sub>O).

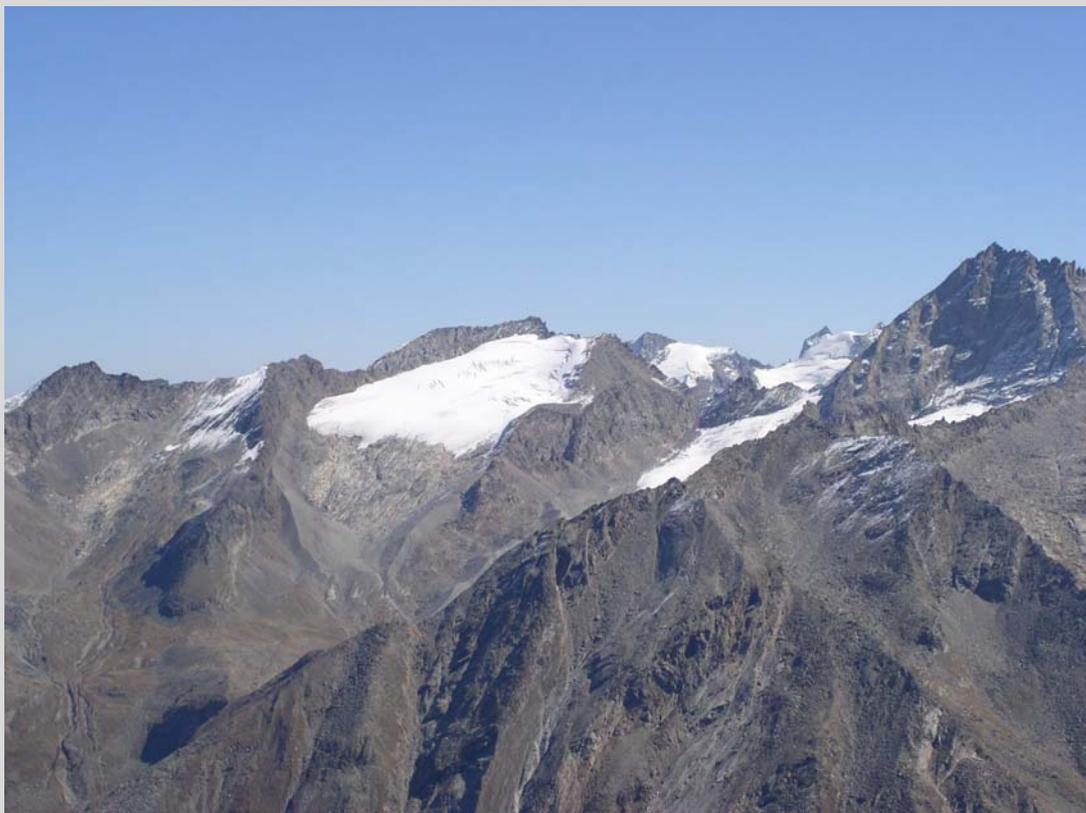


Foto 1 - Panoramica del Ghiacciaio del Timorion (foto L. Muraro, 03/09/2003)



## LA SCELTA DELL'APPARATO GLACIALE

La scelta del Ghiacciaio del Timorion per l'attività di monitoraggio è stata determinata dalle caratteristiche che lo rendono particolarmente adatto sia in termini di significatività, rispetto al più ampio contesto geografico, sia di condizionamenti operativi nelle stagioni in cui vengono realizzate le campagne di misura.

In particolare, l'esposizione prevalente a Nord-Ovest, la quota media piuttosto elevata, la morfologia "regolare" (cioè assenza di digitazioni e frangiature, emergenze rocciose, ghiaccio di parete), l'alimentazione diretta non turbata da accumuli da valanga e eolici, l'assenza di detrito morenico e di forti irregolarità della pendenza, rappresentano elementi che fanno del Timorion un apparato rappresentativo delle condizioni del clima intralpino valdostano (con scarsa influenza dal carattere marittimo del settore piemontese) e in grado di rispondere, in modo diretto e in assenza di importanti elementi di perturbazione, ai cambiamenti delle dinamiche di apporto e ablazione.

Inoltre la superficie limitata, coerente con i mezzi a disposizione per le attività di campagna, la facilità di accesso (sempre in relazione all'ambiente tipicamente alpino) e la percorribilità nelle diverse stagioni consentono di effettuare le operazioni annuali di monitoraggio in sicurezza senza richiedere risorse umane e finanziarie insostenibili.

Si tenga infine presente che trattandosi di attività significative nel medio-lungo periodo, è fondamentale progettare e pianificare gli interventi anche in funzione del costo complessivo richiesto per la loro realizzazione.

## LA POSA DELLE PALINE ABLATOMETRICHE SUL GHIACCIAIO DEL TIMORION

Ai fini della determinazione del bilancio di massa si è reso necessario posizionare sul corpo glaciale alcune paline ablatometriche utilizzate nelle successive misure annuali di accumulo e ablazione. Tale operazione, logisticamente piuttosto complessa, ha previsto l'impiego di una sonda a vapore per la realizzazione di fori all'interno dei quali sono state inserite 8 aste di misura composte ognuna da 5 segmenti di 2 m di lunghezza, per complessivi 10 m. Ogni palina viene considerata rappresentativa di una determinata porzione del ghiacciaio.

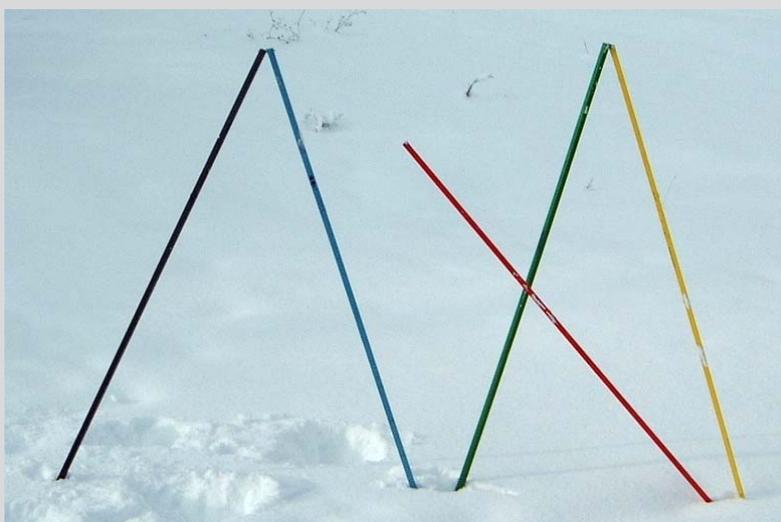


Foto 2 - palina ablatometrica (5 segmenti di 2 m vincolati con cavetto metallico)



Foto 3: sonda a vapore montata su slitta per facilitarne il trasporto



Foto 4: Segmento terminale della sonda impiegata per la realizzazione dei fori tramite vapore



Foto 5: perforazione



Foto 6: Inserimento della palina ablatometrica nel foro praticato sul ghiacciaio



Foto 7: Segmento finale di palina emergente dalla superficie del ghiacciaio



## IL CALCOLO DEL BILANCIO DI MASSA

Il bilancio di massa viene determinato per differenza fra la massa di ghiaccio accumulata nel periodo invernale (precipitazioni nevose) e la massa persa per fusione durante la stagione estiva. Tali misure, effettuate in corrispondenza delle paline (lungo le quali è possibile determinare le variazioni di spessore del corpo glaciale), sono condotte convenzionalmente alla fine della stagione di accumulo (nel periodo compreso tra l'ultima settimana di maggio e la prima settimana di giugno) e alla fine dell'estate quando la fusione ha manifestato i suoi massimi effetti. Durante l'attività tardo-primaverile si misura la densità della neve mediante tubo carotatore LGGE e si valuta la distribuzione degli accumuli sul ghiacciaio realizzando numerosi sondaggi con sonde manuali (sonde da valanga).

I valori di accumulo invernale e di ablazione sono espressi in metri cubi di equivalente in acqua: ad un accumulo di 3 m di neve con densità di  $400 \text{ Kg/m}^3$  corrisponde, ad esempio, lo spessore di una lama d'acqua di 1,2 m sulla superficie del ghiacciaio.



Foto 8: Carotaggio della superficie del ghiacciaio



Foto 9: Estrazione e pesatura della carota



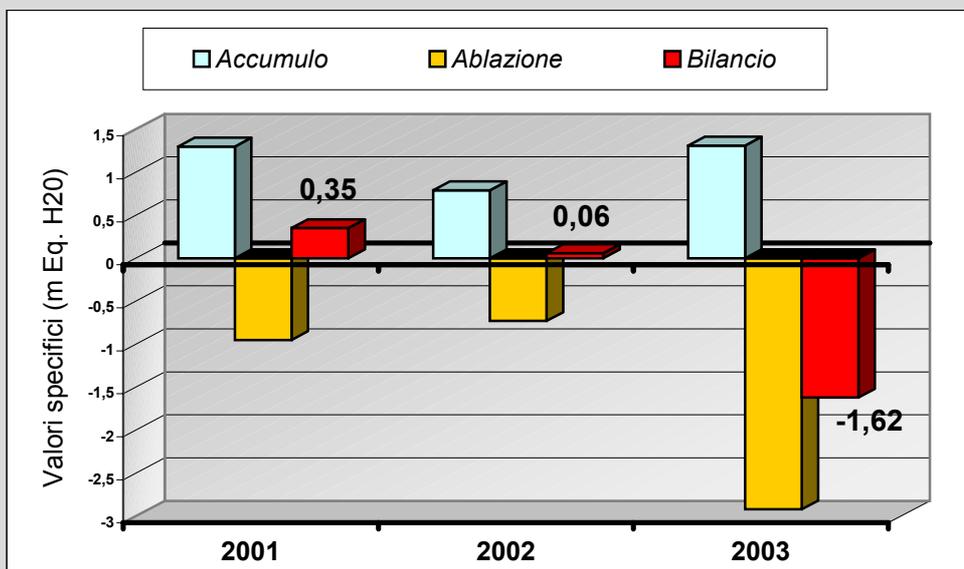
Foto 10: misura degli accumuli nevosi



Foto 11: Misura dell'ablazione estiva lungo una palina

### PRIMI RISULTATI DEL MONITORAGGIO

Sulla base di quanto rilevato nel corso del periodo 2001-2003, l'andamento del bilancio del ghiacciaio di Timorion conferma la tendenza alla fusione misurata per altri ghiacciai italiani per cui sono disponibili serie di misure ultradecennali.



Dal grafico risulta evidente come l'esito del bilancio del 2003 sia condizionato principalmente dall'intensa fusione registrata nel corso dell'ultimo anno - attribuibile soprattutto al perdurare di temperature particolarmente elevate - a fronte di accumuli nevosi paragonabili a quelli dei due anni precedenti.